Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Voraussage der Schweißmengen aus Klima und Arbeit nach verschiedenen Verfahren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Tilo Weihgold
aus Alpirsbach

1974

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546528_0044

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Voraussage der Schweißmengen aus Klima und Arbeit nach verschiedenen Verfahren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Tilo Weihgold
aus Alpirsbach

1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan : Prof. Dr. W. Schlote
Berichterstatter : Prof. Dr. W. Höfler

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG . Tübingen

für Gudi

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung	4
Methodik	11
Berechnungen	16
Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse	23
Zusammenfassung	33
Literaturverzeichnis	35
Anhang	38

EINLEITUNG.

Der menschliche Organismus hat verschiedene Möglichkeiten, auf hohe Umgebungstemperaturen zu reagieren. Mit zunehmender Umgebungstemperatur - hier wirddie Fähigkeit des Körpers, Wärme in Form von Strahlung und Konvektion abzugeben, immer geringer, es kann sogar Wärme zugeführt werden - verbleibt als einzige Möglichkeit der Wärmeabgabe eine verstärkte Schweißbildung. Die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung beruht auf der Bindung von Wärme, die der Haut entzogen wird. Die dabei entstehende Wärmeabgabe beträgt 0,58 kcal/g verdampften Schweißes (GRANDJEAN, 1962). Dank dieser beträchtlichen Verdunstungswärme von Wasser kannzz.B. durch Verdunstung von 100 ml Schweiß die Grundumsatzwärme von 1 Stunde gebunden werden (HÖFLER, 1968).

Diese verstärkte Schweißabgabe tritt auch beim Nichtakklimatisierten in Erscheinung, sie reicht aber nicht aus, um eine genügend große Verdunstung zu gewährleisten. Die Folge davon ist ein Anstieg der Korntemperatur.

Außerdem ist der Organismus des Nichtakklimatisierten noch nicht fähig, über längere Zeit Schweiß zu produzieren. Es kommt zur "Schweißdrüsenermüdung" (GERKING u. ROBINSON, 164; WYNDHAM und Mitarb., 1966).

Steigende Kerntemperaturen beinhalten die Gefahr einer Hyperthermie mit Folgen wie Kreislaufkollaps und Hitzschlag.

Das Wesentliche bei der Akklimatisation besteht darin,

soviel Schweiß zu produzieren, daß es zu einer optimalen Verdunstung kommen kann. WYNDHAM (1967) spricht von einer niedrigeren Schwellentemperatur bei Schweißausbruch als beim Nichtakklimatisierten. Diese entscheidende Zunahme der Schweißsekretion bei niedrigerer Körpertemperatur - womit auch die Gefahr der Hyperthermie gebannt wäre - beruht nach COLLINS und Mitarb. (1966), FOX und Mitarb. (1962) auf einem "Schweißdrüsentraining".

Wir sehen also, daß eine starke Vermehrung der Schweißproduktion - neben Veränderung der Pulsfrequenz und der Rektaltemperatur, die hier nicht behandelt werden - eine der wesentlichen Leistungen der Anpassung an Hitzebelastung ist.

Die Schweißproduktion kann großen Schwankungen unterliegen. Sie ist vor allem abhängig vom Akklimatisationsgrad, vom Klima und der individuellen Reaktion auf Hitzebelastung. Normalerweise können junge akklimatisierte Männer Schweißmengen von über 5 l pro 4 h (WEINER et al., 1960) produzieren. Maximale Schweißraten, die aber nicht lange aufrecht erhalten werden können, liegen bei 2 l pro Stunde (LEITHEAD und LIND, 1964). Die höchsten bekanntgewordenen Schweißmengen liegen bei 4,2 l pro Stunde und 12 l bei einer Hitzeexposition von 4 Stunden (EICHNA und Mitarb., 1945, zit. nach WENZEL, 1961).

Es erhebt sich die Frage, ob mit Hilfe der Schweißmenge oder anderer physiologischer Größen sich eine Voraussage machen ließe über tolerable Bedingungen unter Hitzebelastung.

Zur Beurteilung des Hitzestreß, dem der Mensch bei

gegebener Arbeitsschwere unter verschiedenen Klimakonstellationen ausgesetzt ist, dienen Hitzebelastungsindices. Die in dieser Arbeit beschriebenen Indices (BALG, van ACKEREN, ITS-Index) gehen von den Berechnungen der Wärmebilanz der Versuchsperson aus. Der P_4SR-Index ist abgeleitet aus den Meßwerten physiologischer Größen von Versuchspersonen (WENZEL, 1968).

LUNDGREN (zitiert nach WENZEL, 1968) schlug eine Abgrenzung verschiedener Stufen von Wärmebelastung nach der Größe des Schweißverlustes vor, Mc ARDLE et al. (1947) gingen von der Annahme aus, daß die Schweißabgabe ein geeignetes Maß der Hitzebelastung sei. In Hitze kann die Wärmebildung des Menschen nur mit Hilfe der Schweißabgabe ausgeglichen werden. Selbstverständlich bestehen Beziehungen zwischen Schweißmenge, Haut- und Kerntemperatur (HÖFLER, 1970): Eine durch Verdunstung an der Körperoberfläche abgegebene Wärmemenge muß vom Kreislauf an die Körperoberfläche transportiert werden. Daraus ergibt sich auch eine Beziehung zwischen Schweißmenge und Kreislaufbeanspruchung.

Es soll nun am Beispiel einer 23-jährigen Versuchsperson dargestellt werden, wieweit sich im Vergleich zur experimentell erhaltenen Schweißmenge der Versuchsperson Voraussagen der Schweißproduktion auf Grund von Klima und Arbeit an Hand einiger Hitzebelastungsindices machen lassen.

Dabei handelt es sich um
1. den P_4SR-Index (predicted 4-hrs sweating rate)
2. den SE-Index (BALG)

3. analoge Berechnungen nach van ACKEREN
4. den ITS-Index.

ad 1. Wie bereits erwähnt, gingen Mc ARDLE et al. (1947) von der Annahme aus, daß die Schweißabgabe ein geeignetes Maß der Hitzebelastung sei. Ist nun die Klimakonstellation (Trocken-, Globe- und Feuchttemperatur, Windgeschwindigkeit) sowie die Wärmeproduktion bekannt, so läßt sich mit Hilfe eines Nomogramms voraussagen, eine wie große Schweißmenge von einem Kollektiv trainierter und akklimatisierter gesunder junger Männer in einem Zeitraum vom 4 Stunden produziert werden kann. Da sich dieser P_4SR-Index auf Gruppen von Menschen bezieht, kann es bei der Auswertung der Schweißmengen von Individuen zu beträchtlichen Unterschieden kommen. Van ACKEREN (1972) führt dies darauf zurück, daß die Schweißverteilung auf die verschiedenen Regionen des Körpers als Parameter im P_4SR-Index nicht berücksichtigt ist.

Die zu erwartende Schweißmenge soll 5 l pro 4 Stunden nicht überschreiten.

ad 2. KERSLAKE (1963) konnte mit Hilfe von Modellversuchen zeigen, daß bestimmte Beziehungen bestehen zwischen Verdunstungskapazität C, verdunsteter Schweißmenge V und gebildeter Schweißmenge S. BALG (1970) untersuchte diese Beziehungen an den Ergebnissen mehrerer Versuche mit jungen Männern und gelangte zu dem Ergebnis, daß zwischen Schweißmenge und Verdunstung eine statistisch gesicherte Beziehung besteht, die sich in der Funktion

$$V/C = 1{,}26 . e^{\frac{-0{,}6}{S/C}}$$

ausdrücken läßt. Dabei wird die verdunstete Schweiß-

menge V aus der Wärmebilanzgleichung mit Hilfe des Stoffwechsels, der Wärmespeicherung und des Wärmeaustausches von Strahlung und Konvektion errechnet, die Verdunstungskapazität C aus Klima und Hauttemperatur.

Aufgelöst nach der Schweißmenge S ergibt sich

$$S = \lg \frac{0{,}25\ C}{1{,}26\ C - V}$$

Damit läßt sich S mit Hilfe der aus der Wärmebilanzgleichung gewonnenen Werte errechnen.

Die Schweißmenge S kann auch graphisch gewonnen werden aus der Formel V/C = f (S/C). (Diese Kurve ist gültig im Bereich V/C = 0,4 bis 1,0 belegt)

ad 3. Während der Akklimatisation kommt es zu einer regionalen Umverteilung der Schweißmenge zu Gunsten der Extremitäten (HÖFLER und Mitarb., 1966), da dort die besseren Wärmeabgabebedingungen herrschen. Das führt im günstigsten Fall zu einer Kurve, bei der die Verdunstungskapazität bereits optimal genutzt werden kann, wenn der Quotient S/C $\neq$ 1,7 ist. Bei einer Schweißverteilung zu Ungunsten der Extremitäten und dafür sehr starker Schweißbildung an Kopf und Stirn müßten Schweißwerte bis 3,8 C (van ACKEREN, 1972) erreicht werden, um das Verdunstungsmaximum vollständig ausnutzen zu können. Im V/C - S/C-Diagramm unterscheiden sich die Verlaufsformen der Kurven der zwei zitierten Beispiele erheblich, die Kurve S/C = 3,8 für V/C=1,0 verläuft wesentlich flacher.

Da in unserem Fall die prozentualen Anteile der

Schweißmengen von Stamm, Kopf und Extremitäten an der Gesamt-Schweißmenge nicht bekannt waren, wurden für die Schweißverteilung durchschnittliche Werte angenommen. Die sich aus dieser Schweißverteilung ergebende Kurve verläuft ähnlich der BALGschen Kurve, bei V/C=1,0 ergibt sich S/C = 2,6.

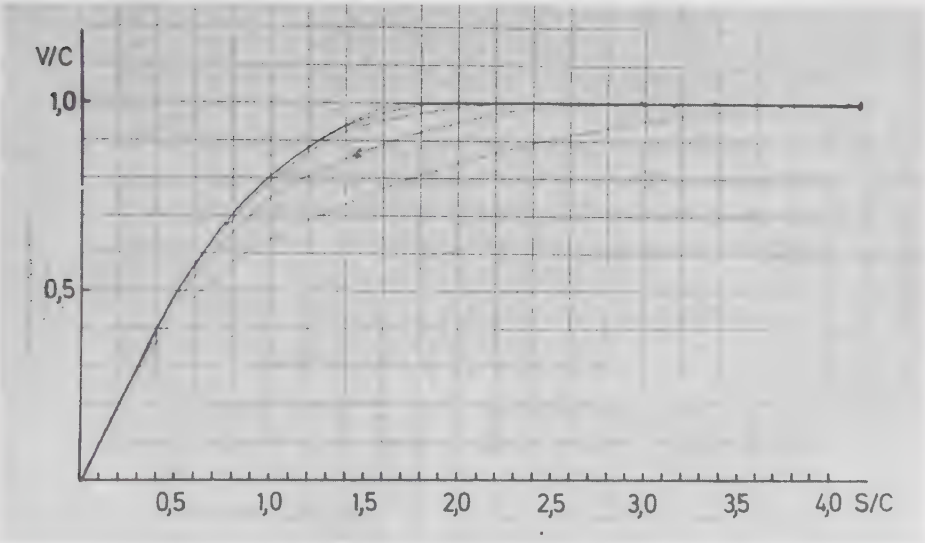


Abb. 1 V/C - S/C - Diagramm für verschiedene Schweißverteilung (nach van ACKEREN, 1972)
Es wurde die mit einem Punkt gekennzeichnete Kurve benutzt. Als Anteil an der Gesamtschweißmenge wurden für Stamm und Kopf 55 %, für die Arme 15 % und für die Beine 30 % genommen.

ad 4. Der ITS-Index (Index of Thermal Stress, GIVONI, 1964) beruht ebenfalls auf einer Schätzung von Wärmebilanzgrößen. GIVONI (1964) spricht von einer bio-

physikalischen Analyse des Wärmeaustausches zwischen dem menschlichen Körper und Umwelt-- temperatur. Wesentlich ist die Kühlwirkung von Schweißsekretion und Verdunstung.

Der Grenzwert der Hitzebelastung liegt bei diesem Index bei 1100 g Schweißmenge pro Stunde (nach Mc ARDLE.et al., 1947), bezogen auf eine Arbeitsdauer von 4 Stunden.

Für die zu erwartende Schweißmenge gilt die allgemeine Gleichung
S = E (1/f) bei bekannter Arbeit und Temperatur, wobei E die erforderliche Verdunstungskälte und gleich der gesamten Hitzebelastung ist; f ist die Abkühlungsleistung beim Schwitzen.

In einer Exponentialfunktion ausgedrückt gilt:

$$S = E\ (0{,}67\ e^{0{,}002\ E/Emax})$$

E/Emax entspricht V/C. Emax ergibt sich aus der Verdunstungszahl, Windgeschwindigkeit und Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Haut und Luft. E wird mit Hilfe des Stoffwechsels (M - A) und des Wärmeaustausches von Strahlung und Konvektion berechnet. Die Wärmespeicherung wird nicht berücksichtigt. Die zur Formel $S = E\ (0{,}67\ e^{0{,}002\ E/Emax})$ gehörende Kurve erreicht für V/C = 1,0 den Wert S/C = 1,7.
A = Arbeit.

METHODIK!

Versuchsperson war ein 23-jähriger, 182 cm großer und 68,5 kg schwerer Student, dessen Körperoberfläche 1,9008 m^2 (berechnet nach DUBOIS, 1915) betrug, und der während des Versuches nur mit Shorts bekleidet war.

Der Versuch fand in einer Klimakammer (Größe 230 cm breit, 360 cm lang, 200 cm hoch) der Firma MEISSNER UND WURST, Stuttgart statt und erstreckte sich über einen Zeitraum vom 7 Wochen; die ersten beiden Wochen dienten dem Training der Versuchsperson, die 3. Woche der Akklimatisation und die restlichen vier Wochen dem Hauptversuch. Jede Woche hatte 6 Arbeitstage. Die Sonntage waren frei.

GERÄTE: Es wurden u.a. benutzt:

1. Fahrradergometer: Arbeitsleistungen 4 und 8 mkp/sec pro 50 Minuten Arbeitszeit. Die Pedalgeschwindigkeit (60 Umdrehungen/min) wurde mit Hilfe eines elektrischen Schrittmachers kontrolliert.
2. Toledowaage (Meßgenauigkeit 20 g)
3. Photoelement, am Ohrläppchen befestigt, zur Messung der Pulsfrequenz, angeschlossen an einen elektrischen Pulszähler
4. Photoelektrischer Pulszähler (nach E.A. MÜLLER)
5. Thermoelement (ELLAB, Kopenhagen), zur Messung der Rektaltemperatur während der Arbeit
6. Thermoelement, zur Messung der Hauttemperatur von Stirn - Brust - Unterarm - Oberschenkel - Unterschenkel

7. Quecksilberthermometer, zur Messung der Rektaltemperatur in Ruhe
8. Globethermometer
9. Tele-Thermometer, Modell 46 TUC der Firma YELLOW SPRINGS CO.,INC. zum Ablesen von Globe-, Rektal-Hauttemperatur
10. Zweifarbenschreiber der Firma Elektrogeräte Stuttgart für Trocken- und Feuchttemperatur
11. Respirationsgasuhr des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie in Dortmund
12. Junghans - Großstoppuhr
13. Sprechanlage

Der Versuch begann täglich außer sonntags zwischen 8.00 und 8.15 Uhr und bestand aus einer 30 Minuten langen Ruhe vor der Arbeit, einer Arbeit von 4 x 50 Minuten und einer ebenfalls 30 Minuten dauernden abschließenden Ruheperiode (wie während der ersten Ruhe Versuchsperson im Liegestuhl).
Durchgeführt wurden folgende Messungen:

1. Gewicht und Rektaltemperatur vor Beginn des Versuchs
2. Rektal- und 5 Hauttemperaturen alle 10 Minuten
3. Klima: Trocken-, Feucht- und Globetemperatur alle 5 Minuten
4. Pulsfrequenz über 10 Minuten
5. Stoffwechselbestimmung 1 x 20 Minuten; stets in der 2. Arbeitsstunde, 15' - 35'. Die mit einer Fußballblase gesammelte Expirationsluft wurde mit dem Gerät von HARTMANN und BRAUN analysiert

6. Gewichtsverlust durch Schwitzen nach der Anfangsruhe, nach jeder Arbeitsphase und der Schlußruhe (Toledowaage, Meßgenauigkeit 20 g)

Zwischen den einzelnen Phasen des Versuchs (Ruhe, Arbeit) gab es keine Ruhepausen; die Versuchsperson verließ Liegestuhl oder Ergometer lediglich, um auf der Toledowaage gewogen zu werden. Der auftretende Gewichtsverlust wurde während der nächstfolgenden Versuchsphase durch körperwarme Flüssigkeit (diverse Tees, Coca-Cola) ersetzt.

Die Versuchsperson hatte im Trainingsversuch und während der Akklimatisation eine Arbeitsleistung von 8 mkp/sec zu erbringen; sowohl für die Trainingszeit als auch für die Akklimatisation gilt, daß jeweils am 1. Tag des entsprechenden Versuchsprogrammes nur 2 x 50 Minuten Arbeit, am 2. Tag 3 x 50 Minuten, ab dem 3. Tag jeweils 4 x 50 Minuten Arbeit geleistet wurde.

Die Arbeit während des Hauptversuchs (Test) betrug 4 oder 8 mkp/sec. Stoffwechselbestimmungen begannen während der Akklimatisation. Sie fanden an fünf Tagen pro Woche statt, nie an Samstagen. Die Windgeschwindigkeit in der Kammer betrug 0,5 m/sec. Die Klimakammertemperatur während des Trainingsversuchs konnte nicht durchgehend gemessen werden, da bereits nach fünf Tagen der Zweifarbenschreiber ausfiel; da die Kammer aber nicht beheizt und die Tür zum Vorraum offenstand, entsprach die Temperatur in der Kammer in etwa der Umgebungstemperatur (21 - 22°C Trockentemperatur und schwankende Feuchttemperatur). Während des Akklimatisationsversuchs herrschte eine Trocken-

temperatur um 40°C und eine Feuchttemperatur um 28°C (40 % Luftfeuchtigkeit).

Die Klimabedingungen während des Hauptversuchs wurden in vier Gruppen eingeteilt. Es wurde eine Reihe von Versuchen (4 bzw. 8 mkp/sec Arbeit) bei 39,7 - 39,8°C Trockentemperatur (TT) und einer Luftfeuchtigkeit (RF) zwischen 45 und 56,5 %, eine nächste Gruppe bei 43,8 - 44,1°C TT, RF 29,6 - 40 %, eine weitere Gruppe bei 35,1 - 35,2 TT und einer RF zwischen 69 und 80,5 % durchgeführt. Die vierte Klimakonstellation bei 30,2°C TT und einer RF von 86,9 % wurde nur einmal angewandt.

Über Einzelheiten der Temperatur während des Hauptversuchs siehe Tabelle 1.

TABELLE 1: Klima, Arbeitsleistung und gemessene Schweißmenge (kcal/h)

	pro 4h gemitteltes Klima				1. Arbeit			2. Arbeit			3. Arbeit			4. Arbeit		
	TU	TF	A	M	TU	TF	S	TU	TF	S	TU	TF	S	TU	TF	S
T_{2x}	39,8	29,1 45 %	8	230	39,9	29,2 45 %	423,4	39,8	29,3 46 %	594,5	39,8	29,0 45 %	498,8	39,8	28,9 45 %	500,5
T_{3x}	39,7	30,5 51,4%	4	194	39,7	30,4 51 %	374,1	39,7	30,5 51,5%	445,4	39,8	30,5 51 %	368,3	39,6	30,5 52 %	334,7
T_4	39,7	31,7 56,5%	4	194	39,8	31,5 55 %	394,4	39,7	31,6 56 %	548,1	39,7	31,7 57 %	440,8	39,7	31,9 58 %	408,9
T_5	43,9	29,2 34 %	4	230	43,8	29,4 34,5%	374,7	43,8	29,7 36 %	489,9	44,1	29,6 35 %	423,4	44	28,6 31,5%	440,8
T_6	44	28 29,6%	8	238	44,0	27,3 27,5%	468,6	44	28,2 30 %	542,3	44,1	28,2 30 %	539,4	44	28,3 31 %	529
T_8	44	32,5 45 %	4	190	44,1	32,5 45 %	574,2	44	32,6 45 %	687,3	44	32,5 45 %	564,3	44	32,5 45 %	542,3
T_{23x}	44	31 39,1%	5	181	44	30,4 37,5%	388,6	44	31,2 40,5%	527,8	44	31,7 42 %	536,5	44	30,8 39 %	479,5
T_{10x}	35,05	32 80,5%	4	194	35,1	32,2 81 %	319	35,1	32 80,5%	539,4	35	32,1 81 %	394,4	35	31,8 79,5%	413,4
T_{11x}	35,2	31,05 74 %	4	181	35,2	31 74 %	233,2	35,2	31 74 %	294,6	35,2	31,1 74,5%	298,1	35,2	31,1 74,5 %	272,5
T_{13x}	35,1	30 69 %	8	226	35,1	30 69 %	308,6	35,1	30,1 69,5%	445,4	35,1	30 69 %	413,5	35,1	30 69 %	385,3
T_{14}	35	31 75 %	8	234	35,1	31 75 %	355	35	31 75 %	588,7	35	31,1 75 %	466,9	35	31 75 %	361,9
T_{20x}	30,2	28,5 86,9%	8	228	30,4	28,4 85,5%	181	30,1	28,4 87 %	252,3	30,3	28,8 88 %	287,1	30	28,3 87 %	237,7

Es wurden nur Versuche berücksichtigt, bei denen mindestens 3 h gearbeitet wurde.
Für alle mit x gekennzeichneten Testversuche wurden die Schweißmengen der 4. Stunde aus der Summe 3 h mal 4/3 ermittelt.
Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf einem Psychrometer (W.LAMBRECHT) abgelesen.

BERECHNUNGEN

1. Berechnung des Stoffwechsels

Der Energieumsatz wurde mit Hilfe der Methode der indirekten Kalorimetrie gemessen. Der Grundumsatz für die Versuchsperson wurde nach dem Standard von Fleisch (GEIGY-Tabellen) bestimmt; er beträgt bei einer Körperoberfläche von 1,9 m^2 und einem Alter von 23 Jahren 72 kcal/h. Der Arbeitsumsatz (mechanische Arbeit) lag bei einem Wirkungsgrad von 25 % für 4 mkp/sec bei 28 kcal/h, für 8 mkp/sec bei 56 kcal/h; er wurde nach der Formel

$$A = \frac{\text{mkp/sec x 60 x Dauer der Arbeit}}{427}$$

berechnet.

Für den Nettoumsatz M gilt (nach Abzug der Verrichteten Arbeit):

$$(M-A) = (M/h \cdot 5/6) + (GU/6 \cdot 1{,}25) \begin{matrix} -28 \text{ bei 4 mkp/sec} \\ -56 \text{ bei 8mkp/sec} \end{matrix}$$

GU = Grundumsatz

Die an 16 Versuchstagen (7 x für 4 mkp/sec, 9 x für 8 mkp/sec) durchgeführten Stoffwechselmessungen wurden in der Wärmebilanzrechnung ebenso benutzt wie die aus den beiden Arbeitsschweren gemittelten Umsätze, die für 4 mkp/sec 187 kcal/h und für 8 mkp/sec 244 kcal/h betrugen

Es muß darauf hingewiesen werden, daß mit diesem in der zweiten Stunde (15'-35') durch Messung erhaltenen Stoffwechselwert die Wärmebilanzrechnung für alle

vier Arbeitsphasen vorgenommen wurde, obwohl dieser Wert von Stunde zu Stunde unterschiedlich sein kann.

2. Berechnung der verdunsteten Schweißmenge V

V wird aus der Wärmebilanzrechnung berechnet:

$$V = M \pm Q_{C+S} \pm \Delta H \text{ kcal/h (HÖFLER, WS 67/68)}$$

wobei M die Stoffwechselgröße, Q_{C+S} der Konvektions- und Strahlungswärmestrom und ΔH die Wärmespeicherung ist.

3. Berechnung der Verdunstungskapazität C

Die Verdunstungskapazität C wurde nach CLIFFORD und Mitarb. (1959) berechnet:

$$C = F \cdot K_e \cdot (p_H - p_U) \text{ kcal/h},$$

wobei F die Körperoberfläche in m^2 ist.
Der an der Hautoberfläche (p_H) und in der Luft (p_U) herrschende Wasserdampfdruck ergab sich aus dem Sättingungsdampfdruck bei der betreffenden Temperatur und der relativen Feuchte (GEIGY-Tabellen).
p_H, p_U = Wasserdampfdruck auf der Haut und der Umgebung.
Für p_H wurde Sättigungsdampfdruck angenommen, da die maximale Verdunstung nur bei vollständig befeuchteter Haut stattfinden kann.
K_e = Verdunstungszahl
= 0,45 · Windgeschwindigkeit $v^{0,62}$ ($kcal/m^2 \cdot h \cdot Torr$)
Die Windgeschwindigkeit v wird in ft/min gemessen, sie betrug in unmittelbarer Nähe der Versuchsperson 100 ft/min oder 0,5 m/sec. Für v = 100 ft/min erhält man:

$$C = 8,19 \cdot F (p_H - p_U) \text{ kcal/h} \cdot m^2 \cdot \text{Torr}$$

4. Umrechnung der gemessenen Schweißmenge S in kcal/h

Sie wurde berechnet aus der produzierten Schweißmenge S in g und der Verdunstungswärme von Wasser (BRISBANE, 1968):

Schweißmenge in g x 0,58 = S in kcal/h

5. Berechnung der Wärmespeicherung ΔH

Diese wird berechnet aus der Änderung der Rektaltemperatur (Kerntemperatur) und der mittleren Hauttemperatur nach der Formel

$$\Delta H = G \cdot 0{,}83\ (0{,}8 \cdot \Delta RT + 0{,}2 \cdot \Delta HT)\ \text{kcal/h}$$

wobei G das Körpergewicht in kg ist und die spezifische Wärme des Körpers 0,83 kcal/kg (ASCHOFF, 1960) beträgt.

6. Berechnung des Konvektionswärmestroms Q_C und des Strahlungswärmestroms Q_S

Q_C: Nach CLIFFORD und Mitarb. (1959) gilt für den Konvektionswärmestrom:

$$Q_C = K_C \cdot F\ (t_U - t_H)\ \text{kcal/h}$$

K_C = 0,23 · Windgeschwindigkeit $v^{0,62}$ (kcal/m 2 . h . °C)

Die Windgeschwindigkeit beträgt 100 ft/min (0,5 m/sec)
F = Körperoberfläche in m^2
t_U, t_H = Umgebungstemperatur (Trockentemperatur), Hauttemperatur in °C.

Q_S: Die Berechnung der Wärmeabgabe (Wärmeaufnahme) durch Strahlung erfolgte nach dem STEFAN-BOLTZMANN-

Gesetz. Da bei den Versuchen die Wandtemperatur der Lufttemperatur nahezu gleich war, und die Differenz Umgebungstemperatur-Hauttemperatur klein war, kann die Berechnung des Strahlungswärmestroms vereinfacht aus der Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung vorgenommen werden:

$$Q_S = K_S \cdot F \cdot (t_U - t_H) \text{ kcal/h}$$

Beide Wärmeströme können zusammengefaßt werden (HÖFLER, 1968) und ergeben:

$$Q_{SC} = (K_C + 0{,}8\ K_S) \cdot F\ (t_U - t_H)$$

Für unsere Berechnungen gelten:

$$Q_{SC} = 8{,}87 \cdot F\ (t_U - t_H) \text{ kcal} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^{\circ}\text{C}$$

7. Rechnerische Bestimmung der Schweißmenge S aus dem SE-Index (BALG): unter Verwendung des gemessenen Stoffwechsels = $BALG_1$, unter Verwendung des gemittelten Stoffwechsels = $BALG_2$.
Graphische Bestimmung aus dem SE-Diagramm unter Verwendung des gemessenen Stoffwechsels = $BALG_3$, unter Verwendung des gemittelten Stoffwechsels = $BALG_4$.

Da die verdunstete Schweißmenge V stoffwechselabhängig ist, ergeben sich für V bei gemitteltem Stoffwechsel ($BALG_2$, $BALG_4$) andere Werte als bei gemessenem Stoffwechsel ($BALG_1$, $BALG_3$).

Dasselbe gilt für den ITS-Index und van ACKEREN!

Der SE-Index wurde nach S (Schweißmenge) aufgelöst; die einzelnen Schritte verliefen folgendermaßen:

$$V/C = 1{,}26 \cdot e^{\frac{-0{,}6}{S/C}}$$

$$e^{\frac{-0{,}6}{S/C}} = \frac{V/C}{1{,}26}$$

Nach Logarithmierung mit dem natürlichen Logarithmus ergibt sich:

$$\frac{-0,6}{S/C} = \ln \frac{V/C}{1,26}$$

Durch Auflösen nach S/C erhält man:

$$S/C = \frac{-0,6}{\ln \frac{V/C}{1,26}}$$

$$S = \ln \frac{-0,6\ C}{\frac{V}{1,26\ C}}$$

$$S = \frac{0,6\ C}{\ln \frac{1,26\ C}{V}}$$

Umwandlung des ln in lg:

$$S = \frac{0,25\ C}{\lg \frac{1,26\ C}{V}}$$

Mit Hilfe der dieser Funktion $V/C = 1,26 \cdot e^{\frac{-0,6}{S/C}}$ entsprechenden Kurve kann die zu erwartende Schweißmenge S in Vielfachen von C angegeben werden, da der Quotient V/C durch die Berechnung der Wärmebilanz bekannt ist. Man erhält also zum Ordinatenwert V/C durch die (oben erwähnte) Kurve $V/C = 1,26 \cdot e^{\frac{-0,6}{S/C}}$ den zugehörigen Abszissenwert. Abszissenwert x C ergibt S.

8. Um das P_4SR - Nomogramm richtig benutzen zu können, sind einige Korrekturen notwendig.

Falls Trocken- (T_t) und Globetemperatur (T_g) nicht übereinstimmen (in unserem Falle waren sie gleich), muß die Feuchttemperatur (t_F) mit $\pm$ 0,4 ($t_g - t_t$) korrigiert werden.

Ist nun der Bruttoenergieumsatz größer als 54 kcal/ h . m^2 (was die Stoffwechselrate für einen auf einem Stuhl sitzenden Mann bedeutet), so muß dies mit Hilfe der kleinen Graphik im Diagramm berücksichtigt werden. Ein diesem erhöhten Stoffwechselbetrag entsprechender Temperaturwert muß in °C zur Feuchttemperatur addiert werden. In unserem Falle gilt die für Shorts (Arbeit in Shorts) ausgezogene dritte Linie. (Siehe Abbildung 2, Seite 22)

Durch die Verbindung der Skalen für Trocken- bzw. Globetemperatur und korrigierte Feuchttemperaturen erhält man über eine in der Mitte des Nomogramms gelegene Skala, die ebenso wie die Feuchttemperatur die Windgeschwindigkeit berücksichtigt, die Grund-4-Stunden-Schweißabgabe B_4SR in l.

Die endgültige 4-Stunden-Schweißmenge wird aus der Formel

$$P_4SR = B_4SR + 0{,}014\ (M-54)$$

errechnet.
M = Stoffwechsel in kcal/h . m^2

Diese Formel gilt für Versuchspersonen, die mit Shorts bekleidet, Arbeit verrichten.

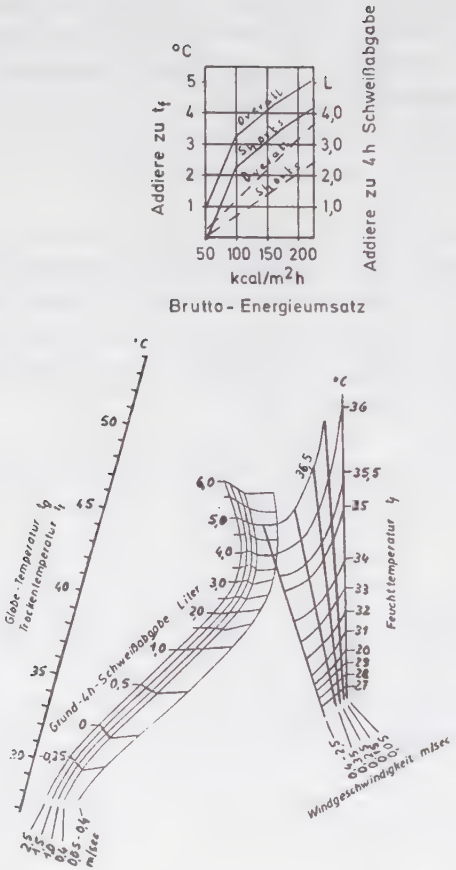


Abb. 2 Nomogramm zur Vorberechnung der 4-Stunden-Schweißabgabe nach Mc ARDLE und Mitarb.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In dieser Arbeit wurde sowohl die Schweißbildung der einzelnen Arbeitsphasen als auch die 4-Stunden-Schweißmenge untersucht. Aus den Ergebnissen unserer Testreihe ergibt sich, daß bei ähnlichen Klimakonstellationen und bei gleicher Arbeit oft erhebliche Unterschiede für die gemessene Schweißbildung sowohl der einzelnen Arbeitsstunden als auch der Tagesschweißmengen auftreten können.

Da nun unsere mit Hilfe der Indices errechneten oder abgelesenen Schweißmengen mit Werten aus der Wärmebilanz arbeiten, ergeben sich auch daraus gewisse Abweichungen, wie zum Beispiel aus Tabelle 2 und aus Abbildung 3 (siehe Anhang) ersichtlich.

Andererseits erkennt man aus der Abbildung 3, daß alle mit Hilfe der Indices erhaltenen Kurven eine grundsätzlich gleiche Verlaufsrichtung haben.

Die Kurven für den ITS-Index verlaufen am flachsten und auf dem niedrigsten Niveau, die ITS-Werte liegen zwar stets tiefer als die der gemessenen Schweißmengen; sie kommen diesen aber in der ersten, dritten und vierten Stunde am nächsten. Siehe auch die Tabellen 4 - 7 im Anhang.

Der ITS-Index arbeitet mit anderen Wärmedurchgangszahlen (HÖFLER, 1970) als BALG und van ACKEREN. Daraus resultiert ein etwas anderer, steilerer Verlauf der aus der Indexformel abgeleiteten Kurve V/C = f (S/C). Zwischen dieser und der BALG'schen Kurve läßt sich eine gute Übereinstimmung im Bereich von V/C zwischen 0,4 und 0,8 zeigen. Bei V/C-Werten von über 0,8 (die

Mehrzahl der V/C-Werte liegt in unserem Versuch über 0,8 und nähert sich V/C = 1. Ein anderer Teil liegt über 1; für diese Werte mußte - wie bereits erwähnt - V/C = 1 gesetzt werden) ergaben sich oft erhebliche Unterschiede zwischen dem ITS-Index und den restlichen Indices: Bei V/C = 1 erreicht der ITS-Index einen Wert von S/C = 1,7, während dem BALG'schen Index für V/C = 1 ein S/C-Wert von 2,6 entspricht. Schon daraus ergibt sich, daß die nach dem ITS-Index geschätzten Schweißmengen niedriger liegen müssen, als bei Schätzung nach anderen Indices.

Betrachtet man die einzelnen Mittelwerte der Arbeitsstunden, so erkennt man, daß mit Ausnahme des ITS-Index, der für die 1. Arbeitsphase nur geringfügig (ITS_2 weniger als 1 %, ITS_1 = 4 %) unter der erhaltenen Schweißmenge liegt, die Werte der anderen Indices beträchtlich darüber liegen: $BALG_1$ = 27 %, $BALG_2$ = 30,5 %, $BALG_3$ = 28 %, $BALG_4$ = 31,5 %, van $ACKEREN_1$ = 25,5 %, v. $ACKEREN_2$ = 29,5 %.

Für die 2. Arbeitsphase erfolgte (dieses Mal wiederum mit Ausnahme des ITS-Index, dessen Werte zu niedrig lagen: ITS_1 um 25 %, ITS_2 um 24 %) eine Annäherung der aus dem Versuch erhaltenen und der vorausgesagten Schweißmengen, nicht zuletzt auf Grund der beträchtlichen Steigerung der gemessenen Schweißmenge von 366,2 kcal/h auf 495,9 kcl/h, was eine Zunahme um 35,5 % bedeutete.

Die Abweichungen der Voraussagen lagen zwischen 3 und 9 %: $BALG_1$ (+ 3 %) und $BALG_2$ (+ 3,5 %), deren mit Hilfe der nach S aufgelösten Formel $V/C = 1{,}26 \cdot e^{-0{,}6/S/C}$ errechneten Werte sich der gemessenen Schweißmenge am

meisten näherte, lagen im Diagramm besser als $BALG_3$ (+ 8,5 %), $BALG_4$ (+ 9,5 %), v. $ACKEREN_1$ (7,5 %) und v. $ACKEREN_2$ (9 %). Hier läßt sich also die beste Übereinstimmung der Indices (Ausnahme: ITS-Index) mit den Messungen des Versuches konstatieren, während die Indexwerte für die erste, dritte und vierte Stunde die gemessenen Schweißmengen um ein beträchtliches Maß überschreiten. Siehe dazu auch die Tabellen 4 bis 7 im Anhang.

In der 3. Stunde hatten die mit Hilfe der Indices berechneten Schweißmengen ihre höchsten Werte. Dies stand im Gegensatz zu den während der Versuche gemessenen Schweißmengen, deren Maxima in Übereinstimmung mit LAASER (1968) in der zweiten Arbeitsphase lagen. Am besten lag hier der ITS-Index, obwohl er die gemessene Schweißmenge von 435,9 kcal/h (ITS_1 um 9,5 %, ITS_2 um 8,5 % zu niedrig) nicht erreichte, $BALG_1$ und $BALG_2$ (29,5 % bzw. 22,5 % zu hoch) schnitten wieder besser ab als die restlichen Indices: $BALG_3$ (33 %), $BALG_4$ (37 %), van $ACKEREN_1$ (33 %) und van $ACKEREN_2$ (36 %) lagen um die genannten Zahlenwerte zu hoch.

Wie erklärt sich nun das Schweißmengenmaximum der Indices in der dritten Arbeitsphase?

In unserem Fall erreichte die Hauttemperatur ihr Maximum in der dritten Arbeitsphase (Ausnahmen: bei T_{13} in der zweiten Arbeitsphase, bei T_{20} in der ersten und zweiten Arbeitsphase höher als in der dritten).

Damit steigt der Wasserdampfdruck der Haut gegenüber der zweiten Arbeitsphase. Dies wirkt sich auf die Verdunstungskapazität C aus, die ja in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck der Haut und der Umgebung steht.

Tatsächlich liegt die Verdunstungskapazität in neun von zwölf Fällen (Ausnahmen: T_{13}, T_{20} und T_{23}) in der dritten Stunde höher als in der zweiten.

Ein weiterer Grund, warum das Schweißmengenmaximum der Indices auf die dritte Stunde fällt, liegt darin, daß eine ausgeglichene Wärmebilanz erst nach drei Stunden erreicht wird. Es ergibt sich also eine zeitliche Verschiebung zwischen dem gemessenen Schweißmengenmaximum (dieses Maximum kommt vielleicht erst gegen Ende der zweiten Stunde zustande) und den entsprechenden Wärmebilanzwerten.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, daß die Zuverlässigkeit der Schweißmengenvoraussage durch die Schwierigkeit einer exakten Hauttemperaturmessung beeinträchtigt wird. Weiterhin stieg z. B. die Feuchttemperatur bei Versuch T_{23} von der zweiten zur dritten Stunde um 1,3°C. Hier erkennt man eine der Fehlerquellen unseres Verfahrens: es war sehr schwierig, die relative Luftfeuchtigkeit auf konstantem Niveau selbst innerhalb eines Versuchstages zu halten.

Als Ergebnis in der 4. Stunde war ein Abfallen der Schweißmengen festzustellen; die gemessene Schweißmenge fiel von 435,9 kcal der 3. Stunde auf 409 kcal; sie liegt noch deutlich (12 %) über der Schweißrate der 1. Stunde. Der ITS-Index erreichte diese Werte wiederum nicht, ITS_1 blieb um 9,5 %, ITS_2 um 7 % unter dem gemessenen Schweißwert. Von den restlichen Indices schneidet $BALG_1$ (Ausnahmen sind die bereits erwähnten Werte von ITS_1 und ITS_2) am günstigsten ab, er liegt 22 % über der gemessenen Schweißsekretion, gefolgt von v. $ACKEREN_1$ (+ 27 %), $BALG_3$ (+ 27,5 %), $BALG_2$ (29 %), v. $ACKEREN_2$ (34 %). und und $BALG_4$ (+ 35 %).

$BALG_1$, v. $ACKEREN_1$, $BALG_3$ und ITS_1 liegen, was die Werte der 4. Stunde anbelangt, unter den Werten der 2. Stunde, für $BALG_2$, v. $ACKEREN_2$, $BALG_4$ und ITS_2 sind die Werte der 4. Stunde höher als die der 2. Stunde. Kein Ergebnis der 4. Stunde fällt auf das Anfangsniveau der ersten Stunde zurück.

Wie kommt es zu diesen Abweichungen der Indexschweißwerte von den Schweißwerten des Versuches? Eine gewisse Rolle bei der Beantwortung dieser Frage könnte die Tatsache spielen, daß die Testreihe bereits nach einem einwöchigen Akklimatisationsversuch begann. Damit stellt sich die Frage, ob die Versuchsperson während der Versuche T_1 - T_{14} (T_2 - T_8 fanden in trocken-heißem, T_{10} - T_{14} in feucht-heißem Klima statt) schon genügend akklimatisiert war. LAASER (1968) und HÖFLER (1968) nehmen ja eine dreiwöchige Akklimatisationszeit für trocken-heißes Klima an, während die Akklimatisation für ein feucht-heißes Klima innerhalb dieses Zeitraumes noch nicht abgeschlossen sein soll. (RÜHLING, 1969).

Ferner spielt auch die innerhalb der gleichen Klimakonstellation von Tag zu Tag leicht verschiedene Feuchttemperatur eine Rolle. Nach WENZEL (1968) ist die Schweißabgabe abhängig von der Klimazusammensetzung. Da die Versuche in naher Umgebung der Klimagrenzen stattfanden, können schon geringe Temperaturveränderungen zu Schweißmengenunterschieden führen.

Die Voraussage der Schweißmengen (Werte siehe Tabellen 4-7, Abb. 6-13 im Anhang) für die Einzelstunden steht in enger Korrelation mit den Wärmebilanzgrößen, die in den diversen Indices Eingang finden. Schätzungen für Einzelstunden sind problematisch. So müssen sich z. B. für die vorausgesagten Schweißmengenwerte der 1. Stunde zu hohe Indexschätzungen ergeben, da der Stoffwechselwert der 2. Stunde in die Wärmebilanzrechnung aufgenommen wird.

Eine wie große Rolle unterschiedliche Stoffwechselwerte für die einzelnen Stunden spielen, ergibt sich aus den oft beträchtlichen Schweißmengenunterschieden zwischen $BALG_1$ (individueller Stoffwechsel) und $BALG_2$ (gemittelter Stoffwechsel), $BALG_3$ und $BALG_4$ etc. innerhalb einer Arbeitsphase.

Betrachtet man jedoch die gemittelten Stundenwerte der Versuchstage, so stellt man fest, daß die Indexgrößen $BALG_{1+2}$, $BALG_{3+4}$ und v. $ACKEREN_{1+2}$ im schlechtesten Fall nicht mehr als 7,5 % (4. Stunde) voneinander abweichen, der ITS-$Index_{1+2}$ höchstens 4 % (siehe Tabelle 2 im Anhang).

Auch ergaben sich für den BALG'schen Index keine gravierenden Unterschiede zwischen den mit Hilfe der Formel rechnerisch vorausgesagten und den aus der Kurve entnommenen Werten. Die Unterschiede lagen nie über 6 %; sie mögen dadurch zustande kommen, daß Ungenauigkeiten beim Ablesen der Werte aus dem Schaubild auftreten können.

Zur Frage der Voraussage von Schweißmengen mit Hilfe von Klima und Arbeit muß einschränkend gesagt werden, daß es mit Ausnahme des feucht-heißen Klimas der Versuche T_{10}-T_{14} nicht möglich war, die beiden verschiedenen Arbeitsbelastungen (4 mkp/sec = leichte Arbeit, 8 mkp/sec = mittelschwere Arbeit) systematisch bei gleichen Klimata zu vergleichen. Dies war bedingt durch den vorzeitigen Abbruch einer Anzahl von Versuchen.

Ebenfalls einschränkend muß gesagt werden, daß die geringe Anzahl vergleichbarer Versuchsbedingungen eine statistische Sicherung der Ergebnisse erschwert.

Während des Versuches wurde mit vier verschiedenen Klimakonstellationen gearbeitet. Die Versuche T_5-T_{23} und T_2-T_4 entsprachen eher einem trocken-heißen Klima, während T_{10}-T_{14} und der als einziger seiner Klimakonstellation übriggebliebene Versuch T_{20} einem feucht-heißen Klima nahekamen. Einzelheiten sind aus den Tabellen 1 und 3 ersichtlich. Die in Tabelle 3 mit x bezeichneten Versuche sind von 3 Stunden auf 4 Stunden umgerechnet. Abbildung 4 zeigt die Vier-Stunden-Schweißmengen (ml) für alle zwölf Versuchstage; Abbildung 5 die Vier-Stunden-Schweißmengen bei feucht-heißem Klima, Abbildung 6 bei trocken-heißem Klima (Abb. 4, 5, 6 siehe Anhang).

Der Versuch T_{20} (Arbeitsleistung 8 mkp/sec) fand bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit statt (86,9 %). Wie man aus Abbildung 4 entnehmen kann, lagen hier alle Indexwerte mit Ausnahme des P_4SR-Wertes unter dem Ergebnis der gemessenen Schweißmenge. Dies galt auch für den Versuch T_{10} (80,5 % RF, 4 mkp/sec). T_{20} erreichte den höchsten P_4SR-Wert (+54 %). Vergleicht man nun den Mittelwert der feucht-heißen Versuche T_{10}-T_{14} (+ 22,6 % ohne T_{20}) mit dem der trocken-heißen Versuche (T_5-T_{23} + 23,4 %, T_2-T_4 + 18 %), so läßt sich feststellen, daß der P_4SR-Index sich bei beiden Klimakonstellationen ähnlich verhält, er liegt in etwa gleichem Maße zu hoch.

Der ITS-Index ergibt in feucht-heißem Klima stets zu niedrige Werte, für T_{10}- T_{14} ergibt sich ein Mittel von - 23,8 %. T_{20} liegt 20,5 % unter der gemessenen Schweißmenge S. Im trocken-heißen Klima ergibt sich ein etwas verändertes Bild. Für T_2-T_4 (T_3 = + 3,5 %) ergibt sich ein ITS_1-Mittel von - 7,3 %. Da T_5 (+ 19 %) und T_6 (+ 13 %) um diesen genannten Prozentsatz über der gemessenen Schweißmenge liegen, T_8 (- 34 %) und T_{23} (- 6 %) darunter, ergibt sich ein Mittelwert von - 2 %, auf beide trocken-heiße Konstellationen bezogen ein ITS_1-Mittel von - 4,6 %..Dies würde den ITS_1-Index für die sieben trocken-heißen Versuche in gute Nachbarschaft zu den gemessenen Schweißmengen bringen.

Mittelwerte im feucht-heißen Klima der Versuche T_{10}-T_{14} ergeben für $BALG_1$ (+ 5 %), $BALG_3$ (+ 5,5 %) und van $ACKEREN_1$ (+ 5,9 %). Für T_{20} als Einzelversuch erhält man: $BALG_1$ (- 18 %), $BALG_3$ (- 17 %) und van $ACKEREN_1$ (- 25 %). Allgemein gilt, daß $BALG_{1,3}$ und van $ACKEREN_1$ im feucht-heißen Klima besser abschneiden. Aus Abbildung 5 erkennt man, daß die Werte für $BALG_1$, $BALG_3$ und van $ACKEREN_1$ im trocken-heißen Klima stark streuen, was besonders für die Versuchsreihen T_5-T_{23} gilt. Die Mittelwerte für T_2-T_4 liegen bei + 21 % für $BALG_1$, + 24 % für $BALG_3$ und + 19,8 % für van $ACKEREN_1$.

Für die Einzelergebnisse von T_5, T_6 und T_{23} gilt: T_5 ($BALG_1$ + 74 %, $BALG_3$ + 82 %, van $ACKEREN_1$ + 82 %)

T_6 ($BALG_1$ + 66,5 %, $BALG_3$ + 66,5 %, van $ACKEREN_1$ + 66 %)
T_{23} ($BALG_1$ + 31 %, $BALG_3$ + 43,5 %, van $ACKEREN_1$ + 43,5 %), während T_8 - zur selben Klimakonstellation (44°C TT, 29,6 - 45 % R_F) wie die drei oben erwähnten Versuche gehörend - dagegen die geringste Abweichung aller zwölf Tests von der gemessenen Schweißmenge hatte; die Abweichung betrug für $BALG_1$ (- 4 %), $BALG_3$ (0,5 %) und für van $ACKEREN_1$ (+ 0,5 %).

Das Mittel aus diesen vier Versuchen zeigt, daß $BALG_1$ um 41,9 %, $BALG_3$ ebenso wie van $ACKEREN_1$ um 48 % über der gemessenen Schweißmenge liegen. (Mittelwerte in trocken-heißem Klima.)

Die Ergebnisse zeigen, daß sich aus Wärmebilanzschätzungen die Schweißmenge nur unbefriedigend genau voraussagen läßt. Etwas günstiger schnitt der P_4SR-Index ab.

Ein günstigeres Resultat hätte zuverlässigere Messungen von Hauttemperaturen und Umgebungstemperaturen (Trockentemperatur, Strahlungstemperatur, Feuchttemperatur) und damit eine genauere Bestimmung der Beziehung zwischen Schweißmenge und Verdauung zur Voraussetzung.

Bei Anwendung der im Versuch benutzten Verfahren unter nichtexperimentellen Bedingungen, etwa im Freien oder an Arbeitsplätzen, dürften die Abweichungen noch größer sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe diverser Hitzebelastungsindices und den aus einem vierwöchigen Klimakammerversuch gewonnenen physikalischen und physiologischen Werten wurden für eine 23-jährige Versuchsperson Schweißmengen unter bestimmten feucht- oder trocken-heißen Klimakonstellationen und zwei verschiedenen Arbeitsbelastungen vorausgesagt.

Auf die einzelnen Stunden (Mittelwerte aus 12 Versuchstagen) bezogen, fällt auf, daß das Tagesmaximum der gemessenen Schweißmenge (in der 2. Stunde) nicht mit dem der Indices (erst in der 3. Stunde) übereinstimmt.

Auch hier stimmt der ITS-Index (in der 1., 3. und 4. Stunde) am besten mit der gemessenen Schweißmenge überein, während für die restlichen Indices nur die 2. Stunde in guter Übereinstimmung mit dem Versuchsergebnis steht; für die 1., 3. und 4. Stunde werden zu hohe Schweißmengen vorausgesagt.

Was die Vier-Stunden-Schweißmengen betraf, so schnitt der ITS-Index, der im allgemeinen die gemessenen Schweißmengen der Versuchsperson nicht erreichte, am besten ab. Für die Versuche im trocken-heißen Klima galt für ihn eine Abweichung um - 5 %, in feucht-heißem Klima um - 20 %. Der P_4SR-Index verhielt sich bei beiden Klimakonstellationen etwa gleich, er lag um jeweils etwa 20 % über den gemessenen Schweißwerten. BALG und van ACKEREN schnitten in feucht-heißem Klima günstig ab; sie lagen um 5 % zu hoch, während

die Werte in trocken-heißem Klima sehr stark streuen: die Mittelwerte für die beiden trocken-heißen Klimavarianten liegen zwischen 20 und 40 % zu hoch.

LITERATURVERZEICHNIS

ASCHOFF, J.: Wärmehaushalt. In: LANDOIS-ROSEMANN, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 28. Aufl., S. 331-369. Verlag Urban und Schwarzenberg. München-Berlin (1960)

v.ACKEREN, G.: Beziehung zwischen regionaler Verteilung der Schweißproduktion und Abweichung von der "Predicted 4 Hrs Sweat Rate" P_4SR.
Int. Z. angew. Physiol. 31, 11-40 (1972)

BALG, G.: Beziehung zwischen Verdunstung und Schweißmenge bei Hitzearbeit.
Dissertation Tübingen 1970

BAUR, M.: Verhalten der Wärmebilanzgrößen bei 35-tägigem Aufenthalt in künstlichem feuchtheißem Klima in Abhängigkeit vom Akklimatisations- und Belastungsgrad
Dissertation Tübingen 1971

BRISBANE, S.: Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima
Dissertation Tübingen 1968

CLIFFORD, J., McKERSLAKE, D. and J.L. WADDELL: The effect of windspeed on maximum evaporation capacity in man
J. Physiol. (Lond.) 147, 253 (1959)

COLLINS, K.J., G.W. CROCKFORD and J.S. WEINER: The local training effect of secretory activity on the response of eccrine sweat glands
J. Physiol. (Lond.) 184, 203 (1966)

DUBOIS, D. and DUBOIS, E.F.: The measurement of the surface of man
Arch.intern.Med. 15, 868-881 (1915)

FISCHER, W.: Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in trockenheißem Klima
Dissertation Tübingen 1970

FOX, R.H., R. GREDSMITH, J. HAMPTON and H.E. LEWIS: The mechanism of the increase in sweating capacity induced by heat acclimatization
J. Physiol. (Lond.) 162, 59 P (1962)

GERKING, S.D. and S. ROBINSON: Decline in the rates of sweating of men working in severe heat
Fed. Proc. 5, 32 (1946)

GIVONI, B.: A new method for Evaluating Industrial Heat Exposure and Maximum Permissible Work Load
Int.J.Biometeor. 1964, Vol 8, number 2, pp. 115-124

GRANDJEAN, E.: Die Luftfeuchtigkeit
Z. Präventivmed 7, 405-418 (1962)

HÖFLER, W., SCHMOLL, D., VOIGT, R.: Verteilung der Schweißsekretion auf der Körperoberfläche bei der Hitzeakklimatisation
Naturwissenschaften 53, 506-507 (1966)

HÖFLER, W.: Hitzeakklimatisation
Hippokrates 39, 14 (1968)

HÖFLER, W.: Überlegungen und Grundlagen zu einem Hitzebelastungsindex
Vortrag, Dortmund, 24.6.1970

HÖFLER, W., LADIPOH, J. und LAASER, U.: Beziehungen zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feucht-heißem Klima
Int. Z. angew. Physiol. 27, 34-42 (1969)

HÖFLER, W.: Beurteilung des Hitzebelastungsgrades
Med. Welt 1963, Nr. 16

HÖFLER, W.: Akklimatisation im Tropenklima - eine Voraussetzung für Behaglichkeit und Arbeitseffektivität
Arbeitsmed., Sozialmed., Arbeitshyg. 5. Jahrg., Heft 9 Sept. 1970, S. 230-233

JOCHER, T.: Vergleich verschiedener Klimagrenzen für nicht tolerable Kombinationen von Temperatur und Luftfeuchte bei Hitzearbeit
Dissertation Tübingen 1973

KERSLAKE, D. McK.: Errors arising from the use of mean heat exchange coefficients in the calculation of heat exchanges of a cylindrical body in a transverse wind
Temp. Meas. Contr. Sc.Ind., p.183-189. New York: Reinhold

KRANING, K.K., BELDING, H.S. and B.A. HERTIG: Use of sweating rate to predict other physiological responses to heat

LAASER, U.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima
Int.Z. angew.Physiol.einschl. Arbeitsphysiol. 25, 279-302 (1968)

A N H A N G

Tabellen 2 - 7
Abbildungen 3 - 8

LEITHEAD, C.S. and A.R. LIND: Heat stress and heat disorders
London: Cassel 1964

Mc ARDLE, B., W. DUNHAM, H.E. HOLLING, W.S.S. LADELL, J.W. SCOTT, M.L. THOMSON and J.S. WEINER: The prediction of the physiological effects of warm and hot environments
Med. Res. Counc., Royal Naval Personnel Res. Comm., Report No. 47/391, London 1947

REIN, H. und SCHNEIDER, M.: Einführung in die Physiologie des Menschen
16. Auflage (1971) 181-193

RÜHLING, A.: Änderungen der Gesamtschweißmenge und der in Plastikbeuteln gesammelten Extremitätenschweißmenge bei der Akklimatisation in feucht-heißem und trocken-heißem Klima
Dissertation Tübingen 1970

WENZEL, H.G.: Die Wirkung des Klimas auf den arbeitenden Menschen in:
Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. Band 1 S. 554 Verlag Urban und Schwarzenberg, München, Berlin, Wien 1968

WENZEL, H.G.: Über die Bedeutung von Herzfrequenz, Körpertemperatur und Schweißabgabe des Menschen bei Hitzearbeit als Kriterien zur Beurteilung der Belastungshöhe
Arbeitsmed., Sozialmed,. Arbeitshyg. 3, 76-80 (1968)

WENZEL, H.G.: Formen der Überbeanspruchung des thermoregulatorischen Systems des Menschen
Arbeitsmed., Sozialmed., Arbeitshyg. 8, 216-219 (1969)

WYNDHAM, C.H.: Effect of acclimatization on the sweatrate/rectal temperature relationship
J. appl. Physiol. 22, 27 (1967)

WYNDHAM, C.H., STRYDOM, N.B., J.F. MORRISON, C.G. WILLIAMS, A.G. BREDELL and J. PETER: Fatugue of the sweat gland response
J. appl. Physiol. 21, 107 (1966)

Tabelle 2:

h	$BALG_1$	$BALG_3$	$BALG_2$	$BALG_4$	S gemessen	ITS_1	ITS_2	$v.ACK_1$	$v.ACK_2$
1.h	464,5	467,5	477,7	480,6	366,2	351,3	363,7	459,3	473,9
2.h	510,5	537,2	512,1	543,3	495,9	373,8	377,3	534,2	541,6
3.h	568,8	579,8	577,3	597,8	435,9	393,7	398,3	579,6	594,8
4.h	499,2	521,4	528,9	551,1	409,0	370,8	380,2	516,9	547,9

Übersicht über die erhaltenen (S) oder vorausgesagten Schweißmengen aus 12 Versuchstagen für die einzelnen Arbeitsstunden (kcal/h)

Bei $BALG_1$, $BALG_3$, ITS_1 und $v.ACKEREN_1$ wurde die Schweißmenge mit Hilfe des gemessenen Stoffwechsels geschätzt;
bei $BALG_2$, $BALG_4$, ITS_2 und $v.ACKEREN_2$ mit gemitteltem Stoffwechsel

Tabelle 3a: 4-Stunden-Schweißmengen (ml), S (gemessen), Indices (geschätzt)

	S	$BALG_1$	$BALG_3$	ITS_1	$v.ACK_1$	P4SR	4SR/P4SR	T_U	R_F(%)	A
T_2	3478,0	3999	3928,6	3079,8	3861,4	3664	0,95	39.8	45	8
T_3	2625	3571	3530,2	2712	3496	3410	0,77	39,7	51,4	4
T_4	3090	3504	3852,9	2648,2	3550	3660	0,84	39,7	56,5	4
T_5	2972	5172	5408,9	3534,8	5409	4214	0,70	43,9	34	4
T_6	3585	5978	5970	4053,2	5957	4176	0,86	44	29,6	8
T_8	3983	3831	4001,3	2616,3	4001	4654	0,86	44	45	4
T_{23}	3332,0	4334,4	4780,2	3125,5	4780,2	3928	0,85	44	39,1	4
T_{10}	2873,0	2552,2	2601,2	1770,3	2599	3160	0,91	35	80,5	4
T_{11}	1894,0	2233,4	2120,6	1757,4	2049,8	2728	0,69	35,2	74	4
T_{13}	2677,2	2914,5	3002,4	2065,3	2998,4	3258	0,82	35,1	69	8
T_{14}	3056	3209	3309,1	2229,3	3306	3498	0,87	35	75	8
T_{20}	1652,0	1355,2	1374,1	1310,7	1232,2	2536	0,65	30,2	86,9	8

Korrelation zwischen gemessener Schweißmenge S + mit Hilfe der Indices geschätztem S (y = geschätzte S, x = gemessene S)

$BALG_1$	$\bar{x}$= 2934,75	$\bar{y}$= 3536,58	b= 1,37	r= 0,73	p< 0,01
$BALG_3$	$\bar{x}$= 2934,75	$\bar{y}$= 3656,58	b= 1,48	r= 0,75	p< 0,01
ITS_1	$\bar{x}$= 2934,75	$\bar{y}$= 2575,08	b= 0,83	r= 0,70	p< 0,01
$v.ACK_1$	$\bar{x}$= 2934,75	$\bar{y}$= 3603,25	b= 1,52	r= 0,75	p<0,01
P4SR	$\bar{x}$= 2934,75	$\bar{y}$= 3573,83	b= 0,83	r= 0,90	p< 0,001

Tabelle 3 b: gemessene Vier-Stunden-Schweißmenge (ml) und prozentuale Abweichungen der mit Hilfe der Indices erhaltenen Schweißmengen.

	S	$BALG_1$	$BALG_3$	ITS_1	$v.ACK_1$	P'_4SR
T_2	3478	+ 15 %	+ 13 %	-11,5 %	+ 11 %	+ 5,5 %
T_3	2625	+ 36 %	+ 34,5%	+ 3,5 %	+ 33,5%	+ 30 %
T_4	3090	+ 13,5%	+ 24,5%	- 14 %	+ 15 %	+ 18,5%
T_5	2972	+ 74 %	+ 82 %	+ 19 %	+ 82 %	+ 42 %
T_6	3585	+ 66,5%	+ 66,5%	+ 13 %	+ 66 %	+ 16,5%
T_8	3983	- 4 %	+ 0,5 %	- 34 %	+ 0,5%	+ 17 %
T_{23}	3332	+ 30 %	+ 43,5%	- 6 %	+ 43,5%	+ 18 %
T_{10}	2873	- 12 %	- 10 %	- 38 %	- 10 %	+ 10 %
T_{11}	1894	+ 18 %	+ 12 %	- 7 %	+ 8 %	+ 44 %
T_{13}	2677	+ 9 %	+ 12 %	- 23 %	+ 12 %	+ 22 %
T_{14}	3056	+ 5 %	+ 8 %	- 27 %	+ 8 %	+ 14,5%
T_{20}	1652	- 18 %	- 17 %	- 20,5%	- 25 %	+ 54 %

Tabelle 4: Schweißmengen der ersten Arbeitsstunde (kcal)

	A	T_U	T_F	M	KT	S	$BAIG_1$	$BAIG_2$	$BAIG_3$	$BAIG_4$	ITS_1	ITS_2	S	$v.ACK_1$	$v.ACK_2$
T_1	8	39,7	30,2 50 %	296	36,9	527,8	643	555	672,2	545,5	439,5	408,5	527,8	672,4	543,1
T_2	8	39,9	29,2 45 %	230	37	423,4	466	542	462	537,9	400,6	435	423,4	438,6	526,3
T_3	4	39,7	30,4 51 %	194	36,8	374,1	438	403	439	396,3	361,2	343,7	374,1	414	376,4
T_4	4	39,8	31,5 55,5%	194	37	394,4	467,5	420	458,5	414	357,9	341,5	394,4	456,1	409,3
T_5	4	43,8	29,4 34,5%	230	36,8	374,7	755	710	788,3	700,35	515,4	497,2	374,7	788,3	697,4
T_6	8	44,0	27,3 27,5%	238	36,8	468,6	750	802	733,7	766,35	566,6	573,9	468,6	726,4	762,7
T_8	4	44,1	32,5 45 %	190	37,1	574,2	540	540	564,2	564,2	368,9	368,9	574,2	564,2	564,2
T_{10}	4	35,1	32,2 81 %	194	36,9	319	331	280	318,2	276	238,3	223,2	319	316,7	271,4
T_{11}	4	35,2	31,0 71 %	181	36,7	233,2	240	264	235,9	266,5	219,7	237,7	233,2	219,7	252,1
T_{13}	8	35,1	30,0 69 %	226	36,6	308,6	356	448	352,9	468,2	275,5	306,1	308,6	351,2	468,2
T_{14}	8	35,1	31,0 75 %	234	36,7	355	409	474	402,7	496,2	301,5	324,4	355	400,7	496,2
T_{16}	4	35,2	32,9 85,5%	177	36,8	287,7	222,2	270	221,9	264,7	200,8	223,5	287,7	209,2	253,6
T_{20}	8	30,4	28,4 85,5%	228	36,4	181	140	167	142,3	169,1	144,4	169,1	181	123,7	150,5
T_{21}	8	30,2	27,3 80 %	221	36,4	177,5	115	142	113,8	144,6	101,9	139,8	177,5	99,8	125,6
T_{23}	4	44,0	30,4 37,5%	181	37	388,6	682	682	712,2	712,2	465,7	465,7	388,6	712,2	712,2

Korrelation zwischen gemessener Schweißmenge S + mit Hilfe der Indiees geschätzem S

$BAIG_1$ x=359,26, y=437,0. b=1,45 r=0,79. p<0,001	ITS_1 x=359,26, y=330,6. b=0,92 r=0,78.p<0,001
$BAIG_2$ x=359,26, y=446,6. b=1,31 r=0,75. p<0,01	ITS_2 x=359,26, y=342,6. b=0,74 r=0,71.p<0,01
$BAIG_3$ x=359,26, y=441,2. b=1,51 r=0,79. p<0,001	$v.ACK_1$ x=359,26, y=432,6. b=1,54 r=0,79.p<0,001
$BAIG_4$ x=359,26, y=448,3. b=1,30 r=0,75. p<0,01	$v.ACK_2$ x=359,26, y=440,5. b=1,34 r=0,76.p<0,01

(y = geschätzte S; x = gemessene S)

Tabelle 5: Schweißmengen der zweiten Arbeitsstunde (kcal)

	A	T_U	T_F	S	$BALG_1$	$BALG_2$	$BALG_3$	$BALG_4$	ITS_1	ITS_2	S	$v.ACK_1$	$v.ACK_2$
T_1	8	39,8	30,2 50 %	662,4	664	664	692,2	692,2	452,6	452,6	662,4	692,2	692,2
T_2	8	39,8	29,3 46 %	594,5	596	725	587,6	709,7	453,8	485,8	594,5	581,8	727,3
T_3	4	39,7	30,5 51,5%	445,4	539	461	512,9	482,5	396,1	380,9	445,4	508	469,7
T_4	4	39,7	31,6 56,5%	548,1	560	492	555,8	480,6	380,6	359,9	548,1	570	478,4
T_5	4	43,8	29,7 36 %	484,9	710	720	752,3	752,3	491,9	491,9	484,9	752,3	752,3
T_6	8	44	28,2 30 %	542,3	847	847	884,3	884,3	578,2	578,2	542,3	884,3	884,3
T_8	4	44	32,6 45 %	697,3	555	555	580,2	580,2	379,4	379,4	687,3	580,2	580,2
T_{10}	4	35,1	32 80,5%	539,2	383	383	400,1	400,1	261,6	261,6	539,4	400,1	400,1
T_{11}	4	35,2	31 74 %	294,6	298,3	331	299,2	326,9	254,9	269,6	294,6	286,3	323,2
T_{13}	8	35,1	30,1 69,5%	445,4	460	460	480,2	480,2	313,9	313,9	445,4	480,2	480,2
T_{14}	8	35	31 75 %	388,7	479	479	500,2	500,2	327	327	588,7	500,2	500,2
T_{20}	8	30	28,4 87 %	252,3	186	222	199	229,5	190,9	221,4	552,3	166,5	203,1
T_{21}	8	30,4	27,9 82 %	272,6	254	356	252	352,8	237,9	290,3	272,6	231,8	332,6
T_{23}	4	44	31,2 40,5%	527,8	671	671	700,2	700,2	457,8	457,8	527,8	700,2	700,2

Korrelation zwischen gemessener Schweißmenge S + mit Hilfe der Indices geschätztem S

$BALG_1$ x=491,78, y=503,07, b=0,90, r=0,69. p<0,01	ITS_1 x=491,78, y=369,78, b=0,50, r=0,62. p<0,05
$BALG_2$ x=491,78, y=511,71, b=0,83, r=0,65. p<0,05	ITS_2 x=491,78, y=376,50, b=0,43, r=0,56. p<0,05
$BALG_3$ x=491,78, y=527,78, b=1,01, r=0,70. p<0,01	$v.ACK_1$ x=491,78, y=523,78, b=1,06, r=0,72. p<0,01
$BALG_4$ x=491,78, y=540,85, b=0,90, r=0,66. p<0,05	$v.ACK_2$ x=491,78, y=537,28, b=0,96, r=0,68. p<0,01

Tabelle 6: Schweißmengen der dritten Arbeitsstunde (kcal)

	A	T_U	T_F	S	$BALG_1$	$BALG_2$	$BALG_3$	$BALG_4$	ITS_1	ITS_2	S	$v.ACK_1$	$v.ACK_2$
T_2	8	39,8	29 45 %	498,8	682	751	663,6	784,3	488,7	512,8	498,8	663,5	784,3
T_3	4	39,8	30,5 51 %	368,3	617	551	627,1	542,3	429,2	406,1	368,3	642,5	539,7
T_4	4	39,7	31,7 57%	440,8	586	608	612,2	612,2	400,3	400,3	440,8	612,2	612,2
T_5	4	44,1	29,6 35 %	423,4	763	763	800,3	800,3	523,3	523,3	423,4	800,3	800,3
T_6	8	44,1	28,2 30 %	539,4	886	886	924,3	924,3	604,4	604,4	539,4	924,3	924,3
T_{10}	4	35	32,1 81 %	594,4	399	398	416,1	416,1	272,1	272,1	394,4	416,1	416,1
T_{11}	4	35,2	31,1 74,5%	298,1	403	456	389,7	450,6	291,8	308,4	298,1	387,9	461,8
T_{13}	8	35,1	30 69 %	413,5	455	455	476,2	476,2	211,3	211,3	413,5	476,2	476,2
T_{14}	8	35,0	31,1 75 %	466,9	483	483	504,2	504,2	329,6	329,6	466,9	504,2	504,2
T_{20}	8	30,3	28,8 88 %	287,1	265	350	263,7	348,0	236,3	274,4	287,1	247,2	338,7
T_{23}	4	44	31,7 42 %	536,5	644	644	672,2	672,2	439,5	439,5	536,5	672,2	672,2

$BALG_1$ x=435,91, y=563,75, b=1,31, r=0,68, p<0,05
$BALG_2$ x=435,91, y=577,33, b=1,18, r=0,66, p<0,05
$BALG_3$ x=435,91, y=579,75, b=1,41, r=0,70, p<0,05
$BALG_4$ x=435,91, y=597,75, b=1,27, r=0,68, p<0,05
ITS_1 x=435,91, y=393,66, b=o,78, r=0,64, p<0,05
TTS_2 x=435,91, y=398,25, b=0,73, r=0,62, p<0,05
$v.ACK_1$ x=435,91, y=579,50, b=1,43, r=0,69, p<0,05
$v.ACK_2$ x=435,91, y=594,75, b=1,32, r=0,69 p<0,05

Tabelle 7: Schweißmengen der vierten Arbeitsstunde (kcal)

	A	T_U	T_F	S	$BALG_1$	$BALG_2$	$BALG_3$	$BALG_4$	ITS_1	ITS_2	S	$v.ACK_1$	$v.ACK_2$
T_2	8	39,8	28,9	500,5	575,5	665,9	565,4	670,5	443,2	473,1	500,5	556,3	672,5
T_3	4	39,6	30,5 52 %	334,7	477	435	468,5	428,8	386,5	365,3	334,7	463,2	410,3
T_4	4	39,7	31,9 58 %	408,9	419	485	430,4	608,2	346,2	397,7	408,9	421	608,2
T_5	4	44	28,6 31,5%	440,8	763	763	796,3	796,3	520,6	520,6	440,8	796,3	796,3
T_6	8	44	28,3 31 %	529,0	880	880	920,3	920,3	601,7	601,7	529,0	920,3	920,3
T_8	4	44	32,5 45 %	542,3	544	544	568,2	568,2	371,5	371,5	542,3	568,2	568,2
T_{10}	4	35	31,8	413,4	367,3	350,1	374,3	360,4	254,8	249,8	413,4	374	358,9
T_{11}	4	32,2	31,1	272,5	321,4	346,8	305,2	344,5	252,9	269,2	272,5	295	342,2
T_{13}	8	35,1	30	385,3	419,4	449,8	432,1	470,1	297,2	307,3	385,3	431,5	470,1
T_{14}	8	35,0	31 75 %	361,9	490	490	512,2	512,2	334,9	334,9	361,9	512,2	512,2
T_{20}	8	30	28,3	237,7	195,0	243,9	198	246,4	188,6	219,5	237,7	177,3	228,5
T_{23}	4	44	30,8	479,5	539,0	539,0	687,9	687,9	449,8	449,8	479,5	687,9	687,9

$BALG_1$ x=409,00, y=499,16, b=1,45, r=0,75, p<0,01
$BALG_2$ x=409,00, y=528,91, b=1,46, r=0,78, p<0,01
$BALG_3$ x=409,00, y=521,41, b=1,64, r=0,78, p<0,01
$BALG_4$ x=409,00, y=551,08, b=0,91, r=0,74, p<0,01
ITS_1 x=409,00, y=370,83, b=0,91, r=0,74, p<0,01
ITS_2 x=409,00, y=380,16, b=0,88, r=0,74, p<0,01
$v.ACK_1$ x=409,00, y=516,83, b=1,69, r=0,78, p<0,01
$v.ACK_2$ x=409,00, y=547,91, b=1,67, r=0,80, p<0,01

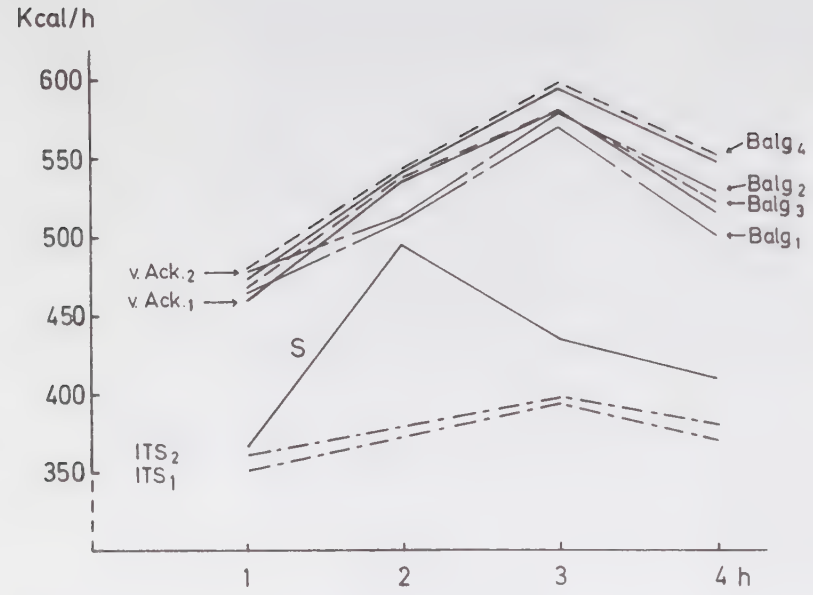


ABBILDUNG 3: gemittelte erhaltene (S-Kurve) oder vorausgesagte Schweißmengen aus 12 Versuchstagen für die einzelnen Arbeitsstunden. Man beachte die Unterbrechung der Ordinate.

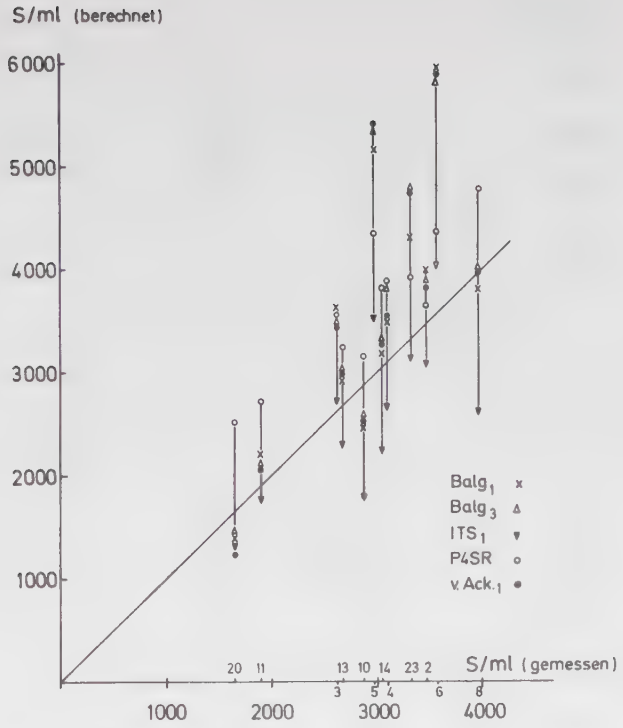
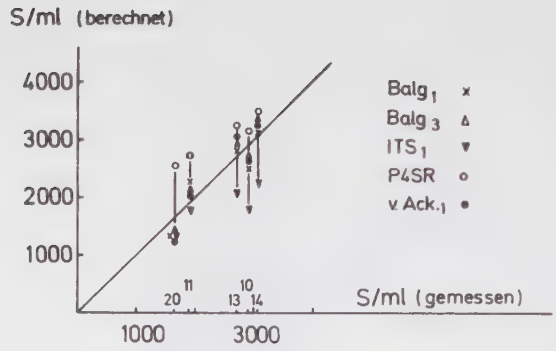


ABBILDUNG 4: 4-Stunden-Schweißmenge in ml für 12 Versuchstage. Die auf der Abszisse angegebenen Zahlen geben die Versuchstage innerhalb der Versuchsreihe an. Dies gilt auch für die Abbildungen 5 und 6. Die durchgezogene Linie ist die 45°-Gerade.



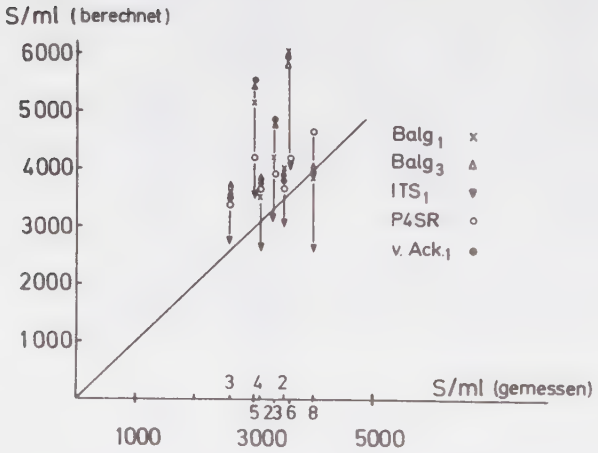


ABBILDUNG 5 (oben): 4-Stunden-Schweißmengen in ml bei feucht-heißem Klima. Einzelheiten des Klimas sind aus den Tab. 1 und 3 a ersichtlich.

ABBILDUNG 6 (unten): 4-Stunden-Schweißmenge in ml bei trocken-heißem Klima.

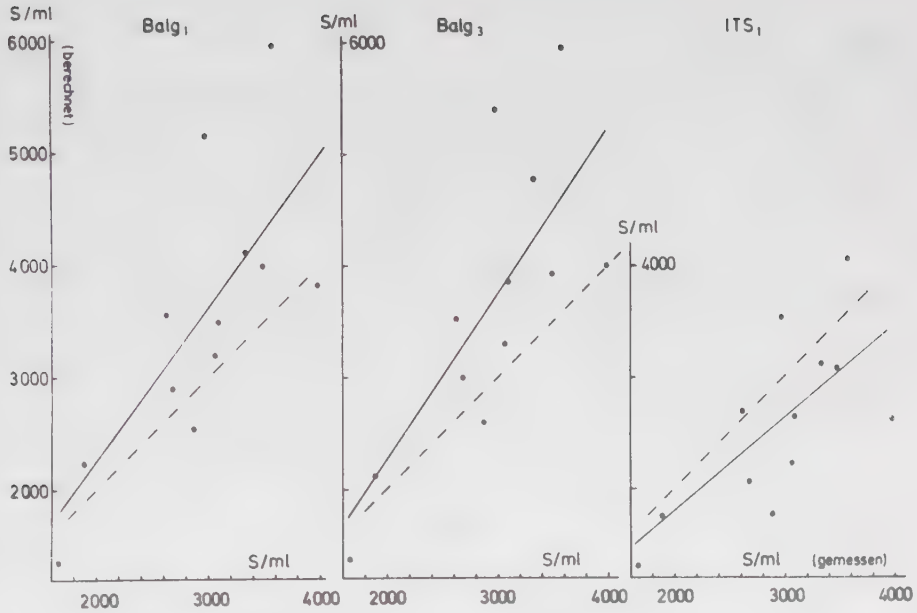


ABBILDUNG 7 und 8: Zusammenhang zwischen gemessener und mit Hilfe verschiedener Indices berechneter Schweißmengen. Die Regressionsgerade ist jeweils durchgezogen, die gestrichelte Gerade die 45°-Gerade.
Für BALG 1 gilt die Regressionsgerade
$y = 1{,}37\ x - 484$
Für BALG 3 gilt die Regressionsgerade
$y = 1{,}48\ x - 687$
Für ITS 1 gilt die Regressionsgerade
$y = 0{,}83\ x + 139$

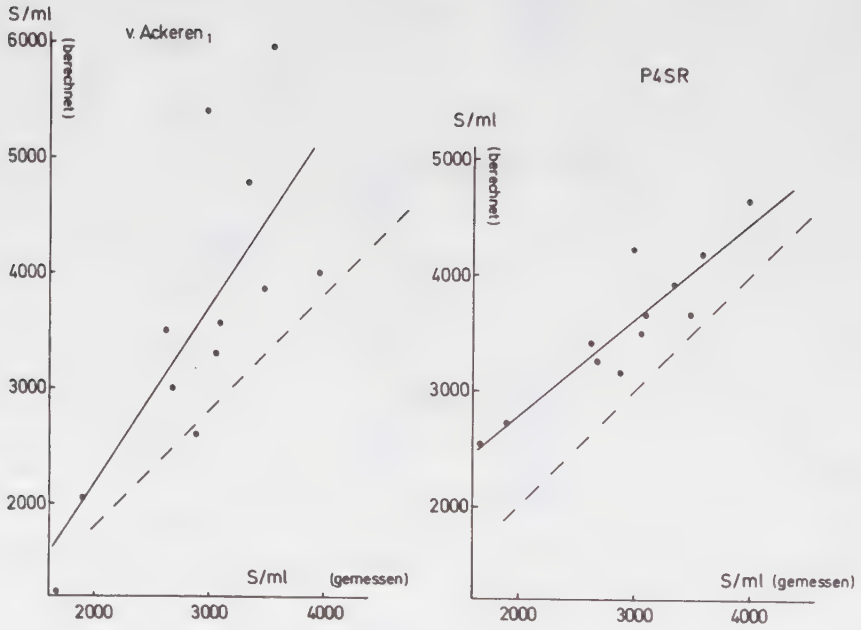


ABBILDUNG 8: Für v. ACKEREN 1 gilt die Regressionsgerade
$y = 1{,}52\ x - 858$
Für P4SR-Index gilt die Regressionsgerade
$y = 0{,}83\ x + 1138$.

Dem Direktor des Tropenmedizinischen Instituts der Universität Tübingen Herrn Professor Dr. H.J. Knüttgen spreche ich meinen Dank aus für die Möglichkeit, in seinem Institut arbeiten zu dürfen.

Herrn Prof. Dr. W. Höfler danke ich sehr dafür, daß er mir das Thema zu dieser Arbeit gegeben und mich bei deren Ausführung unterstützt hat.

Bei Fräulein I. Hermann bedanke ich mich für ihre Hilfe bei den Experimenten und für die Ausfertigung der Fotografien zu den Figuren.

LEBENSLAUF

Am 9. Februar 1943 wurde ich, Tilo Weihgold, als Sohn des Zahnarztes Dr. Alwin Weihgold und seiner Ehefrau Ruth, geborene Armbruster in Alpirsbach/ Schwarzwald geboren.

Vom 1.4.49 - 31.3.53 besuchte ich die Volksschule in Mühlhausen im Täle, vom 1.4.53 - 31.3. 60 das Gymnasium Geislingen/Steige, vom 1.4.60 --31.3.63 die Jugenddorf Christopherusschule Altensteig.

Vom 1.4.63 - 31.3.64 leistete ich meinen Grundwehrdienst ab.

Im Sommersemester 1964 begann ich an der Universität Tübingen Zahnheilkunde zu studieren; die zahnärztliche Vorprüfung bestand ich am 16.10.1967.

Am 14. Dezember 1970 legte ich das zahnärztliche Staatsexamen ab, die Bestallung zum Zahnarzt erhielt ich am 23. Dezember 1970.

Seither bin ich als Assistent in freier Praxis tätig.